

1983~2013 年洛宁县蒸发量变化特征及原因分析

田新芳 (河南省洛阳市气象局, 河南洛阳 471000)

摘要 利用洛宁县 1983~2013 年小型蒸发皿蒸发量资料, 采用气候倾向率及相关分析方法, 对蒸发量的年、季、月变化趋势、变化特征等气候变化进行了比较全面的分析。结果表明, 近 31 年洛宁县蒸发量呈总体下降趋势, 其中秋季蒸发量的减少对全年蒸发量的下降影响最大; 不同季节蒸发皿蒸发量变化趋势不同; 影响蒸发量的主要气候因子是云量、日照、风速, 其中蒸发量与日照、风速呈正相关, 与云量呈负相关。

关键词 洛宁县; 蒸发量; 变化特征; 影响因子; 相关性

中图分类号 S162 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)26-189-03

Change Characteristics and Influence Factors Analysis of Evaporation Capacity in Luoning County from 1983 to 2013

TIAN Xin-fang (Luoyang Meteorological Bureau, Luoyang, Henan 471000)

Abstract By using annual pan evaporation data of Luoning County from 1983 to 2013, adopting correlation analysis and climate tendency rate, the annual, seasonal, monthly variation trend and variation characteristics of evaporation was comprehensively analyzed. The results showed that in Luoning County, nearly 31 years of evaporation decreased, and the decrease of the amount of the fall had the greatest impact on the annual evaporation; the change trend of the evaporation in different seasons is different; the main climate influencing evaporation include cloudiness, sunshine, wind speed, evaporation is positively correlated with sunshine and wind speed, negatively correlated with cloudiness.

Key words Luoning County; Evaporation; Change characteristics; Influencing factor; Correlation

蒸发既是地表热量平衡的组成部分, 又是水量平衡的组成部分, 是水循环中最直接受土地利用和气候变化影响的一项。反过来, 蒸发又可以对空气湿度、气温等气象要素起到调节作用。因此, 进行蒸发量变化的研究, 对深入了解气候变化规律及对未来水资源的规划和开发利用具有重要的参考价值^[1-4]。故县水库位于河南省洛宁县故县镇、黄河支流洛河中游, 距洛阳市 165 km。水库自 20 世纪 90 年代初投入使用, 以防洪为主, 兼有灌溉、发电和工业供水等综合效益。但随着城区供水任务增大, 洛阳市现有供水能力已不能满足需要, 需要增加新的供水水源, 故县水库水质优良已成为洛阳水源地的唯一选择。洛阳市政府计划投资 16.65 亿元修建故县水库引水工程, 2015 年年底将开工建设, 预计 2016 年 9 月底前可建成并投入运行, 引水工程可以提高供水质量, 提升群众饮水安全水平, 有利于改善用水结构, 优化水资源配置, 可以为洛阳市长远发展提供供水保障。因此对该区域蒸发量变化的研究对深入了解气候变化规律和原因, 进一步探讨气候变化对水平衡和水循环要素的影响具有重要意义^[5]。

随着气象事业的发展和观测资料的不断累积, 许多国内外研究者利用多年观测资料来研究蒸发量的变化特征以及影响因子^[6-11]。如 Peterson 等^[6]利用美国和前苏联 1950~1990 年的观测资料, 发现蒸发量呈稳定下降趋势, 并得出了低云量的增加是促使蒸发量减少的论断; Liu 等^[7]依据我国 85 个气象站 50 年的蒸发量观测资料, 分析得出了除东北地区之外, 蒸发量均有明显的下降趋势, 并认为太阳辐射是影响蒸发量变化的重要因素; 安月改等研究发现蒸发量的下降与平均风速存在正相关^[9], 风速是影响年蒸发量下降的主要因子^[10], 蒸发量与大气相对湿度的相关性最好^[11]。笔者在

此利用洛宁县 1983~2013 年蒸发量观测资料, 用气候变化速率的分析方法来分析蒸发量的变化特征, 探讨主要的气象因子对蒸发量变化的影响, 以期更好地了解洛宁当地的气候变化情况, 为相关研究提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 洛宁县位于河南省洛阳市西部(34°05'~34°38'N、111°08'~111°49'E), 洛河中游, 最高海拔为 2 103 m, 年平均气温 13.7℃, 日照时数 2 217.6 h, 年平均无霜期 216 d, 年降水量 600~800 mm。总土地面积 2 306 km², 共有人口 46 万, 是河洛文化的发祥地, 境内有标志中华文明渊源的“洛出书处”、“仓颉造字台”、“伶伦制管”等众多历史文化遗存, 是中华文明之源、文字之源、音乐之源。

1.2 资料选取 洛宁县 1974 年从老站迁到现址, 一直使用小型蒸发, 小型蒸发皿口径 20 cm, 放在距地 70 cm 的位置^{[12]173}。因此, 资料有一定的延续性和使用价值, 在此选用近 31 年(1983~2013 年)的观测资料, 包括蒸发量、日照时数、温度、云量、风速、降水量、相对湿度等气象要素, 并对它们进行分析。四季的划分是采用气象学上的标准, 即春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12 月~次年 2 月)。

1.3 分析方法 利用线性方程 $Y = ax + b$ ($x = 1, 2, \dots, n$) 表示气象要素的变化率, 其中, Y 为气象要素 x 的拟合值; a 为气候倾向率, 表示气象要素的变化率。运用 Excel 进行图表绘制和基本的数据统计, 运用 SPSS10.0 进行 Pearson 相关性分析。

2 蒸发量变化特征分析

2.1 年变化 从年蒸发量变化曲线(图 1)可以看出, 近 31 年洛宁县蒸发量总的趋势是下降的, 下降趋势不太明显, 比较缓和, 其气候变化速率为 $-40.53 \text{ mm}/10\text{a}$; 年最大蒸发量出现在 1986 年, 为 1 439.7 mm, 年最小蒸发量出现在 2000 年, 为 968.2 mm, 年最大与最小相差 471.5 mm, 31 年平均蒸

作者简介 田新芳(1975-), 女, 河南焦作人, 工程师, 从事气象科技服务工作。

收稿日期 2015-07-14

发量为 1 128.7 mm。从时间段来分析,1984~1986 年蒸发量是明显的上升趋势,1986~1989 和 2004~2009 年蒸发量则是明显的下降趋势,最为平稳的是 1989~2003 年,总体上虽然呈上升趋势,但比较缓和。由此看来,1986~1989 和 2004~2009 年蒸发量的下降趋势对全年的影响是比较明显的。

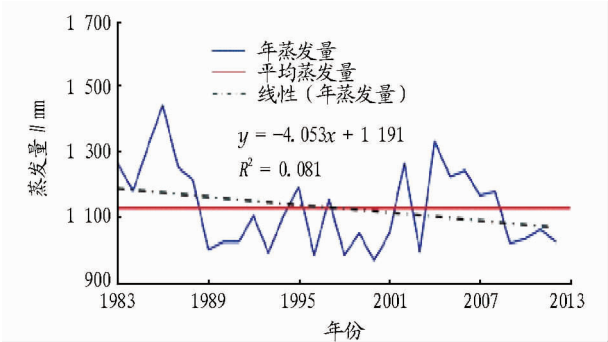
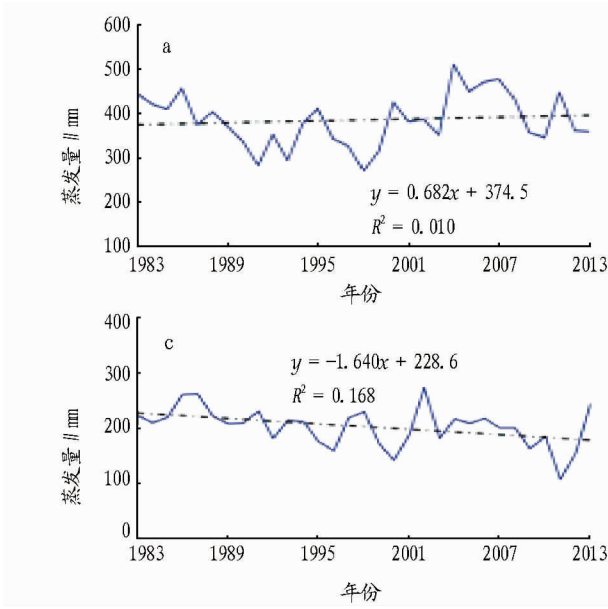


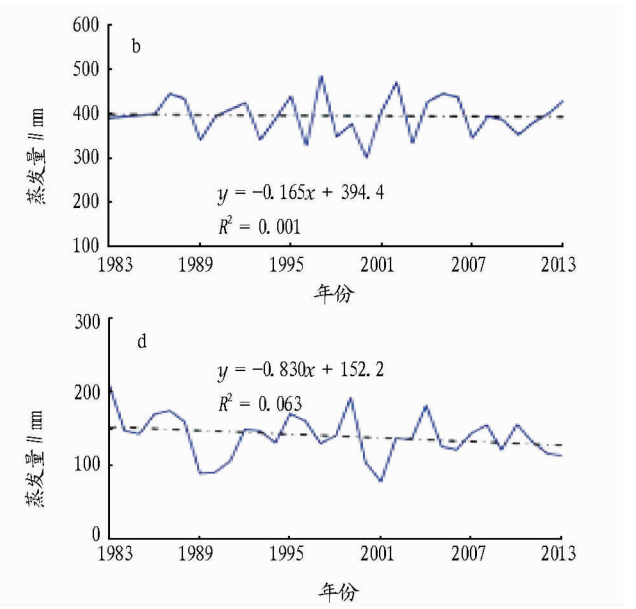
图 1 1983~2013 年洛宁县小型蒸发皿年平均蒸发量变化



2.2 季变化 1983~2013 年洛宁四季平均蒸发量为 128.6 mm,其中,春季蒸发量为 386.3 mm,占全年的 34.2%,夏季蒸发量为 401.3 mm,占全年的 35.6%,秋季蒸发量为 201.0 mm,占全年的 17.8%,冬季蒸发量为 139.9 mm,占全年的 12.4%。蒸发量的季节分布不均衡,其中春季和夏季蒸发量比较大,占全年的 69.8%,秋季次之,冬季的蒸发量为一年中最少。

从洛宁春、夏、秋、冬四季蒸发量变化曲线(图 2)可以看出,除春季蒸发量变化趋势为上升外,其余三季蒸发量变化趋势均为下降,其中夏季和冬季的线性变化趋势比较平缓,秋季的下降趋势比较明显。春、夏、秋、冬四季的气候变化率分别为 6.82、-1.65、-16.40、-8.30 mm/10a。由此看来,秋季蒸发量的减少对全年蒸发量的下降影响最大。

2.3 月变化 从图 3 可以看出,1983~2013 年洛宁县小型蒸发皿逐月平均蒸发量在年内呈波状分布,其中蒸发量最大



注:a.春季;b.夏季;c.秋季;d.冬季。

图 2 1983~2013 年洛宁县小型蒸发皿四季蒸发量变化

出现在 6 月,次大出现在 5 月份,最小平均蒸发量出现在 1 月份,次小为 12 月份。总的来说,春夏季蒸发量大,秋冬季蒸发量小。

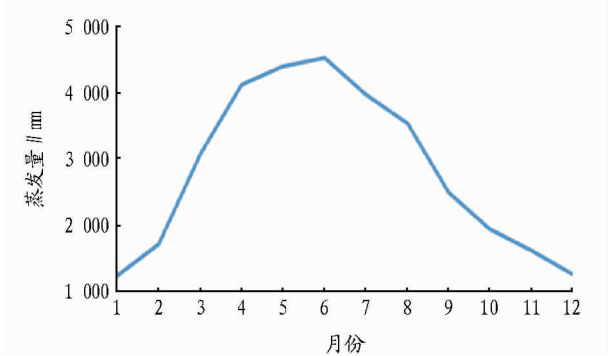


图 3 1983~2013 年洛宁县小型蒸发皿蒸发量月变化

3 蒸发量与影响因子的相关性分析

试验证明,蒸发量速率决定蒸发面的性质、大小、蒸发面上空气的温度、相对湿度、风速、气压、蒸发体的温度以及所含杂质的多少等^{[12][174]}。因此要测定自然条件下的蒸发是十分复杂而困难的。它既有气象因素,也有非气象因素。气象因素主要包括空气温度、日照时数、气温日较差、相对湿度、降水量、水汽压、风速、气压等。在此选择了日照时数、平均风速、总云量、气温、相对湿度、降水量 6 个气象要素来分析对蒸发量的影响。

3.1 日照时数的影响 经计算,近 31 年洛宁日照时数呈现显著的下降趋势,气候倾向率为 -58.40 h/10a,与蒸发量的气候变化趋势一致;从各个季节来分析,春、夏、秋、冬各季日照时数的气候倾向率分别为 16.80、-23.75、-31.20、-17.62 h/10a,除春季日照时数变化趋势为上升外,其他各季日照时数变化趋势均为下降趋势,其中秋季和夏季下降明

显。从表 1 可看出,日照时数和蒸发量的相关系数为正,也就是说日照时数越大,蒸发量就越大,其中在冬季,日照时数和蒸发量的相关系数最大,为 0.796 4,其次为春季(0.779 2),相

关系系数最小的是夏季,为 0.548 8,全年为 0.647 4,均通过了 0.01 的显著性检验。由此推断,洛宁县日照时数的下降引起了蒸发量的下降,是影响蒸发量下降的主要因子之一。

表 1 1983~2013 年洛宁县各影响要素与全年及四季蒸发量的相关系数

时段	日照时数	风速	气温	总云量	降水量	相对湿度
全年	0.647 4**	0.607 0**	0.153 8	-0.412 9**	-0.159 4	-0.272 9
春季	0.779 2**	0.537 1**	0.596 8**	-0.633 4**	-0.387 3*	-0.668 0**
夏季	0.548 8**	0.246 6	0.544 7**	-0.595 6**	-0.528 1**	-0.450 0*
秋季	0.573 0**	0.264 7	0.195 1	-0.695 6**	-0.380 7*	-0.341 4
冬季	0.796 4**	0.482 1**	0.349 1	-0.800 0**	-0.641 5**	-0.753 4**

注: *、** 分别表示通过 0.05、0.01 显著水平检验。

3.2 总云量的影响 一般来讲,云量增加可以减低日间太阳辐射的到达,日照时数就减少,从而引起蒸发减少,它和蒸发是负相关。经计算,近 31 年洛宁县总云量呈现上升趋势,气候倾向率为 33.46 成/10a,与蒸发量的气候变化趋势相反。春、夏、秋、冬各季总云量的气候倾向率分别为 -0.08、7.17、9.30、15.19 成/10a,除春季的总云量变化趋势为微弱的下降趋势外,其他各季均为上升趋势,其中冬季的上升趋势比较明显。从表 1 可见,总云量与蒸发量的相关系数无论是在全年还是四季均为负值,其中冬季的相关系数是 -0.800 0,为最大,其次为秋季(-0.695 6),相关系数最小的是全年,为 -0.412 9,均通过了 0.01 显著性检验。

随着社会的发展,多年的城市化进程,空气中大气凝结核浓度增加,从而有利于云的形成,云量的增多进一步再影响日照时数和蒸发量。从洛宁县近 31 年资料分析,总云量的增多是影响蒸发量减少的另一个重要因素之一。

3.3 风速的影响 风速是影响蒸发速率的重要动力因子,风速大时,湍流加强,干湿空气交换加快,水面蒸发加大^[13]。根据计算,近 31 年洛宁县平均风速呈现下降趋势,气候倾向率为 -0.10 m/(s·10a);从季节分析,春、夏、冬季平均风速均是下降趋势,与全年的趋向相一致,气候倾向率分别为 -0.17、-0.01、-0.03 m/(s·10a),秋季的平均风速呈现上升趋势,气候倾向率为 0.03 m/(s·10a)。从表 1 可以看出,洛宁县全年及四季平均风速与蒸发量均呈正相关,年相关系数为 0.607 0,通过了 0.01 显著性检验。从四季分析,春季的相关系数为 0.537 1,冬季的相关系数为 0.482 1,均通过了 0.01 显著性检验;而夏季和秋季的相关系数分别为 0.246 6、0.264 7,均未通过检验。由此可见,风速也是影响蒸发量减少的主要因素之一。

3.4 气温的影响 经计算,近 31 年洛宁县平均气温呈现上升趋势,气候倾向率为 4.80 ℃/10a,四季的平均气温均呈现上升趋势,气候倾向率分别为 29.23、30.00、10.88、8.18 ℃/10a,春季和夏季的平均气温上升明显,秋季和冬季的平均气温上升不太明显。从表 1 可以看出,气温与蒸发量的相关系数为正值,表示气温越高,蒸发量越大,但仅春季和夏季的相关系数通过了 0.01 显著性检验,全年和秋冬季均未通过检验。所以,洛宁县蒸发量下降,气温不是影响因素之一。

3.5 相对湿度的影响 经计算,近 31 年来洛宁县相对湿度

呈现下降趋势,气候倾向率为 -34.58 %/10a;从季节来看,四季的平均相对湿度均呈现下降趋势,气候倾向率分别为 -14.24、-6.57、-7.65、-6.11%/10a,其中春季相对湿度下降明显。从表 1 可看出,相对湿度与蒸发量的相关系数为负值,表示是负相关,即相对湿度越大,蒸发量越小,其中年和秋季相关系数未通过检验,春季和冬季相关系数通过 0.01 检验,夏季相关系数通过 0.05 检验。洛宁县无论是全年还是四季相对湿度均是下降趋势,但蒸发量却也是下降趋势。所以,相对湿度也不是影响蒸发量下降的因素之一。

3.6 降水量的影响 通过查阅相关资料表明降水与蒸发量不呈相关关系,但降水量的多少有时也会影响蒸发量的大小,降水量越大,蒸发量就越小,反之就越大^[14]。经计算,近 31 年洛宁县年降水量呈现明显的下降趋势,年气候倾向率为 -43.28 mm/10a,春季、夏季、秋季、冬季的气候倾向率也为下降趋势,气候倾向率分别为 -8.32、-26.00、-7.56、-1.41 mm/10a,其中夏季下降明显。由表 1 可见,降水量与蒸发量呈负相关,降水量在夏季和冬季与蒸发量的相关系数比较大,相关性较好,均通过了 0.01 显著性检验,而春秋季节的相关系数分别为 -0.387 3、-0.380 7,均通过了 0.05 显著性检验,全年的相关系数最差,未通过检验。

4 结论

(1)1983~2013 年洛宁县平均蒸发量呈现下降趋势,下降趋势不太明显,比较缓和,其气候变化速率为 -40.53 mm/10a,其中 1986~1989 和 2004~2009 年蒸发量的下降趋势对全年的影响是比较明显的。从季节看,除春季蒸发量变化趋势为上升外,其余 3 个季节蒸发量变化趋势均为下降,其中秋季的下降趋势比较明显,因此,秋季蒸发量的减少对全年蒸发量的下降影响最大。

(2)1983~2013 年洛宁县蒸发量变化和年日照时数呈明显的正相关,年日照时数的下降,引起了蒸发量的下降,是影响年蒸发量下降的主要因子之一。蒸发量变化和年总云量呈明显的负相关,年总云量的增多是影响蒸发量减少的另一个重要因素之一。蒸发量变化和年平均风速呈正相关,年平均风速的下降,引起了蒸发量的下降,是影响年蒸发量下降的主要因子之一。蒸发量变化与气温、相对湿度、降水量相关性不大。

2.4.6 入海量。从图 5 可以看出,利津站多年平均径流量为 306.114 亿 m^3 ,年径流量最丰年为 1964 年的 973.100 亿 m^3 ,年际变化大,阶段性特征明显;1950~2012 年利津站年径流量呈现明显下降趋势,减少速率为 7.193 亿 m^3/a ;1964 年前后平均实测年径流量分别为 465.830 和 245.640 亿 m^3 ,减少近 47%。根据黄河利津水文站 1950~2001 年的观测资料,黄河年径流入海量为 $332.5 \times 10^8 \text{m}^3$,1972~2001 年年均径流入海量为 $226.8 \times 10^8 \text{m}^3$,1990~2001 年年均径流入海量为 $125.4 \times 10^8 \text{m}^3$,仅为 1950~2001 年年均入海量的 1/3。自 2008 年始黄河水利委员会结合黄河调水调沙有计划地开展生态调水工作,对黄河三角洲湿地进行人工生态补水,在此基础上黄河年径流入海量和湿地面积均呈现增加的趋势。总之,近 63 年来黄河下游入海径流量年际变化较大,径流量总体的下降趋势显著。

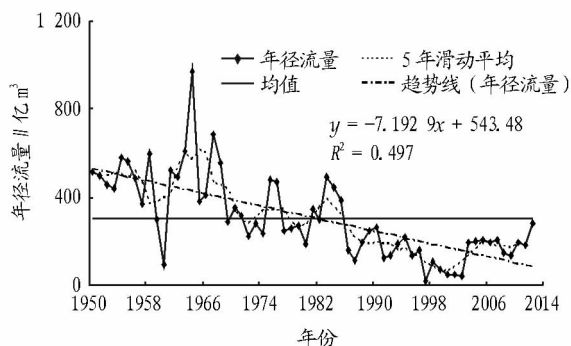


图 5 1950~2012 年利津站年径流量及其 5 年滑动平均变化

除人工补给量和渗漏量忽略不计,黄河三角洲湿地水循环中水分收入处于减少状态,其中年均降水量为 549 mm,上游来水量多年平均值为 212 亿 m^3 ;水分支出中蒸散发量呈增加趋势,年蒸散发量平均为 890 mm,入海量呈现明显下降趋势,多年平均值为 306.114 亿 m^3 ,综上可知,黄河三角洲湿地水循环处于“入不敷出”的状态。

3 结论

水文特征是建立和维持湿地及其过程特有类型的最重要决定因子,对气候变化的响应具有高度敏感性。该研究通过研究区 20 世纪 60 年代以来气温与降水等气象要素的分析特征,研究该区域湿地水文对气候变化的响应,得出以下

结论:

(1)20 世纪 60 年代以来黄河三角洲湿地气温有显著升高趋势,倾向率为 $0.491\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;年降水量的变化趋势不显著,倾向率为 $-2.362\text{ mm}/10\text{a}$ 。气候要素的综合变化使黄河三角洲湿地的湿润系数具有比较显著的降低趋势。

(2)黄河三角洲湿地水循环诸要素中人工补给量和渗漏量变化不大忽略不计,降水量和上游来水量均处于减少状态,水分支出中蒸散发量呈增加趋势,且年均降水量少于蒸散发量,上游来水量少于入海量,湿地水循环整体处于“入不敷出”的状态。

参考文献

- [1] 章光新,尹雄锐,冯夏清. 湿地水文研究的若干热点问题[J]. 湿地科学,2008,6(2):106-115.
- [2] STOCKTON C W, BOGGES W R. Geohydrological implications of climate change on water resources development[R]. Virginia:USACE Center, Ft. Belvoir, 1979.
- [3] NASH L L, GLEICK P H. Sensitivity of stream flow in the Colorado basin to climate change[J]. Journal of hydrology, 1990, 125(1):221-241.
- [4] STONEFELT M D, FONTAINE T A, HOTCHKISS R H. Impacts of climate change on water yield in the Upper Wind River Basin[J]. Journal of the American water resources association, 2000, 36(2):321-336.
- [5] KOIRALA S R, GENTRY R W. SWAT and wavelet analysis for understanding the climate change impact on hydrologic response[J]. Open journal of modern hydrology, 2012, 2:41-48.
- [6] 李林,申红艳,戴升,等. 黄河源区径流对气候变化的响应及未来趋势预测[J]. 地理学报,2011,66(9):1261-1269.
- [7] 刘彩虹,杨延华,王振宇. 黄河上游夏季流量对气候变化的响应及未来趋势预估[J]. 地理科学进展,2012,31(7):846-852.
- [8] LARSON D L. Effect of climate on numbers of northern prairie wetlands[J]. Climate change, 1995, 30:169-180.
- [9] OTTFRIED D, MICHAEL R, KAI S. Wetlands with controlled drainage and sub-irrigation systems-modelling of the water balance[J]. Hydrological processes, 2007, 21(14):1814-1828.
- [10] 唐寅. 运用 SWAT 模型研究小流域气候及土地利用变化的水文响应[D]. 北京:北京林业大学,2011:8-10.
- [11] 崔保山,杨志峰. 湿地学[M]. 北京:北京师范大学出版社,2006:465-468.
- [12] 王慧亮,王学雷,厉恩华. 气候变化对洪湖湿地的影响[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(6):653-658.
- [13] 王笛,马风云,侯栋. 黄河三角洲湿地保护区降水多时间尺度分析[J]. 西南林学院学报,2010,30(6):33-37.
- [14] 王敏. 黄河三角洲湿地水循环模拟模型研究[D]. 济南:山东大学,2012:53-54.
- [15] 奚歌,刘绍民,贾立. 黄河三角洲湿地蒸散量与典型植被的生态需水量[J]. 生态学报,2008,28(11):5356-5369.
- [16] 郭军,任国玉. 淮河流域蒸发量的变化及其原因分析[J]. 水科学进展,2005,16(5):666-672.
- [17] 卜庆雷,王西磊. 莱芜市近 30 年蒸发量及其变化分析[J]. 大众科技,2006(4):195-196.
- [18] 王佩,邱国玉,尹婧,等. 泾河流域温度与器皿蒸发量时空特征及变化趋势[J]. 干旱气象,2008,26(1):17-22.
- [19] 刘蕊蕊,陆宝宏,许丹,等. 石羊河流域蒸发量变化特征及影响因素分析[J]. 水文,2013,33(1):82-89.
- [20] 禹东晖,姬鸿丽,孟丽丽. 嵩县近 45a 蒸发量变化特征及其影响因子研究[J]. 气象与环境科学,2011,34(S1):57-61.
- [21] PETERSON T C, GOLUBEV V S, GROISMAN P Y. Evaporation losing its strength[J]. Nature, 1995, 377:687-688.
- [22] LIU B H, XU M, HENDERSON M, et al. A spatial analysis of panevaporation trends in China, 1955-2000[J]. Journal of geophysical research, 2004, 109:1-9.
- [23] RODERICK M L, FARQNHAR G D. The cause of decreased panevaporation over the past 50 years[J]. Science, 2002, 298(5597):1410-1411.
- [24] 安月改,李元华. 河北省近 50 年蒸发量气候变化特征[J]. 干旱区资源与环境,2005(4):159-162.
- [25] 王艳君,姜彤,许崇育. 长江流域 20cm 蒸发皿蒸发量的时空变化[J]. 水科学进展,2006,17(6):830-833.
- [26] 左洪超,李栋梁,胡德槐,等. 近 40a 中国气候变化趋势及其同蒸发皿观测的蒸发量变化的观测[J]. 科学通报,2005,50(11):42-46.
- [27] 谭海涛,王贞龄,余品伦,等. 地面气象观测[M]. 北京:气象出版社,1986:173-174.
- [28] 曹伟,刘玉南,赵春燕,等. 气象要素对水面蒸发量影响程度的灰色关联分析[J]. 云南水力发电,2008,24(2):7-9.
- [29] 苗运玲,卓世新,杨艳玲,等. 新疆哈密市近 50a 蒸发量变化特征及影响因子[J]. 干旱气象,2013,31(1):95-99.

(上接第 191 页)

参考文献